

Ultramafische Einschaltungen in Metabasiten der KTB-Vorbohrung

K. VON GEHLEN¹, S. MATTHES², M. OKRUSCH², P. RICHTER²,
C. RÖHR^{1,3} und U. SCHÜSSLER²

¹Institut für Geochemie, Petrologie und Lagerstättenkunde
der Universität Frankfurt am Main

²Mineralogisches Institut der Universität Würzburg

³KTB-Feldlabor Windischeschenbach

1. Einleitung

Die Metabasite der KTB-Vorbohrung enthalten untergeordnet Einschaltungen von Talk-Chlorit-Amphibol-Felsen. Solche ultramafischen Metamorphite sind bereits seit einiger Zeit aus der Mitteldeutschen Kristallinschwelle bekannt und wurden dort als "Hösbachite" bezeichnet, so in den Kristallinkomplexen des Vorspessart (MATTHES & KRÄMER, 1955; MATTHES & OKRUSCH, 1965; MATTHES & SCHUBERT, 1967; NASIR, 1986; 1990), des Böllsteiner Odenwaldes (KNAUER et al., 1974) und des Bergsträßer Odenwaldes (SCHUBERT, 1969). Auch in der Zone Erbendorf-Vohenstrauß (ZEV) wurden ähnliche Gesteine gefunden (SCHÜSSLER, 1987), wenn auch in kontaktmetamorph überprägter Form.

In der KTB-Vorbohrung treten die Talk-Chlorit-Amphibol-Felse in Form von Lagen und Linsen auf, die eine Mächtigkeit von maximal 6 m erzielen. Sie sind vorwiegend in Metagabbros, untergeordnet auch in Amphibolite eingeschaltet (Abb. 1). In vielen Fällen beobachtet man allmähliche Übergänge zu den benachbarten Metabasiten; an anderen Stellen sind die Kontakte scharf. Stellenweise werden sie durch helle Adern betont oder sind tektonisch überprägt (KEYSSNER et al., 1986; MASSALSKY et al., 1988; VON GEHLEN et al., 1989, 1990; SIGMUND et al., 1990; MATTHES et al., in Vorb.).

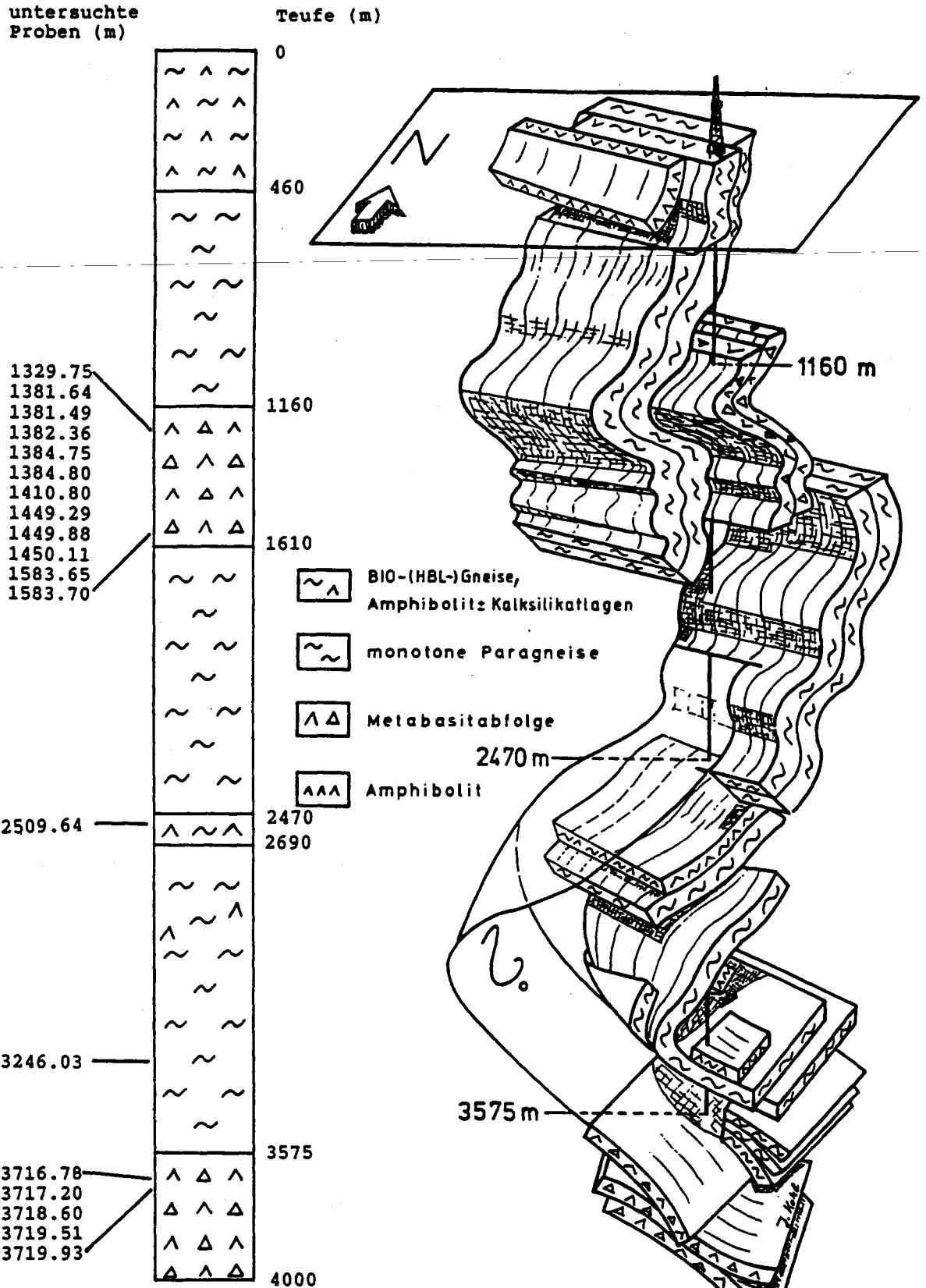
2. Petrographische Gliederung

Wie durch MATTHES et al. (in Vorb.) ausführlich beschrieben wird, lassen sich die ultramafischen Einschaltungen in eine Reihe von Typen gliedern, deren Modalbestände in Tabelle 1 aufgeführt sind. Dabei wird die Kurzbezeichnung "Hösbachit" auf porphyroklastische Talk-Chlorit-Amphibol-Felse (bis -Schiefer) angewendet. Ergebnisse von Mikrosondenanalysen an den unterschiedlichen Mineralphasen der ultramafischen Metamorphite sind in mehreren Diagrammen (Abb. 2 - 5) zusammengestellt. Eine detailliertere Darstellung wird in MATTHES et al. (in Vorb.) gegeben.

A-1. Massige Hösbachite

Dieser Gesteinstyp bildet den mächtigsten ultramafischen Körper, der in der KTB-Vorbohrung angetroffen wurde, und zwar in einer Teufe von 1379.8 - 1385.0 m. Das massige, blastomylonitische Gestein besteht aus einer feinkörnigen, grünlich-grauen Matrix und dunkelgrauen Porphyroklasten von Amphibol (bis 1 cm). Es handelt sich um pargasitische bis magnesio-hastingsitische Hornblende, die u.d.M. bräunlich gefärbt und mit feinsten Ilmenit-Täfelchen durchstäubt ist.

Die Amphibol-Porphyroklasten enthalten poikiloblastische Einschlüsse, die aus Aggregaten von Talk (z. T. mit Serpentin säumen) und/oder aus Chlorit ± Tremolit ± Anthophyllit ± Calcit bestehen. Gelegentlich beobachtet man in den Kernbereichen der großen Hornblendens Relikte von Klinopyroxen, die ebenfalls von Ilmenit durchstäubt sind. Die Hornblende-Porphyroklasten werden randlich von hellgrüner pargasitischer Hornblende, farblosem Tremolit-Aktinolith und gelegentlich Anthophyllit (X_{Mg} 0.67 - 0.80) verdrängt.



nach:
 Kohl, J., Hacker, W., Röhr, C. & Sigmund, J. (1989):
 Geologische Strukturen in Gesteinen der KTB-Vorbohrung.- KTB
 Report, 89-3: 467

Abb. 1. Position der untersuchten Hösbachitproben in der KTB-Vorbohrung.

Die Matrix in diesem Hösbachit-Typ besteht aus Aggregaten von grüner, selten hellbrauner pargasitischer Hornblende, die randlich von Anthophyllith umsäumt werden, farblosem Tremolit-Aktinolith, Klinochlor, Talk und Calcit, die in ihren Mengenanteilen stark variieren, so daß ein fleckiges Gefügebild entsteht. Ein Netzwerk von feinkörnigem Magnetit in Chloritaggregaten weist auf ehemaligen Maschenserpentin hin.

Akzessorische Gemengteile in allen Hösbachit-Typen sind Ilmenit, Magnetit, Cr-führender Spinell, Apatit, Allanit, Pyrrhotin, Chalkopyrit, Pentlandit, Kobaltpentlandit und Kobaltin (KEYSSNER et al., 1986 und eigene Beobachtungen).

A-2. Schiefrige Hösbachite

Hösbachite, die geringmächtige Einschaltungen in Metagabbros bilden, sind oft auffällig deformiert. Ihre Amphibol-Porphyroklasten sind häufig in mosaikartige Aggregate zerlegt und die Matrixminerale stärker in s eingeregelt.

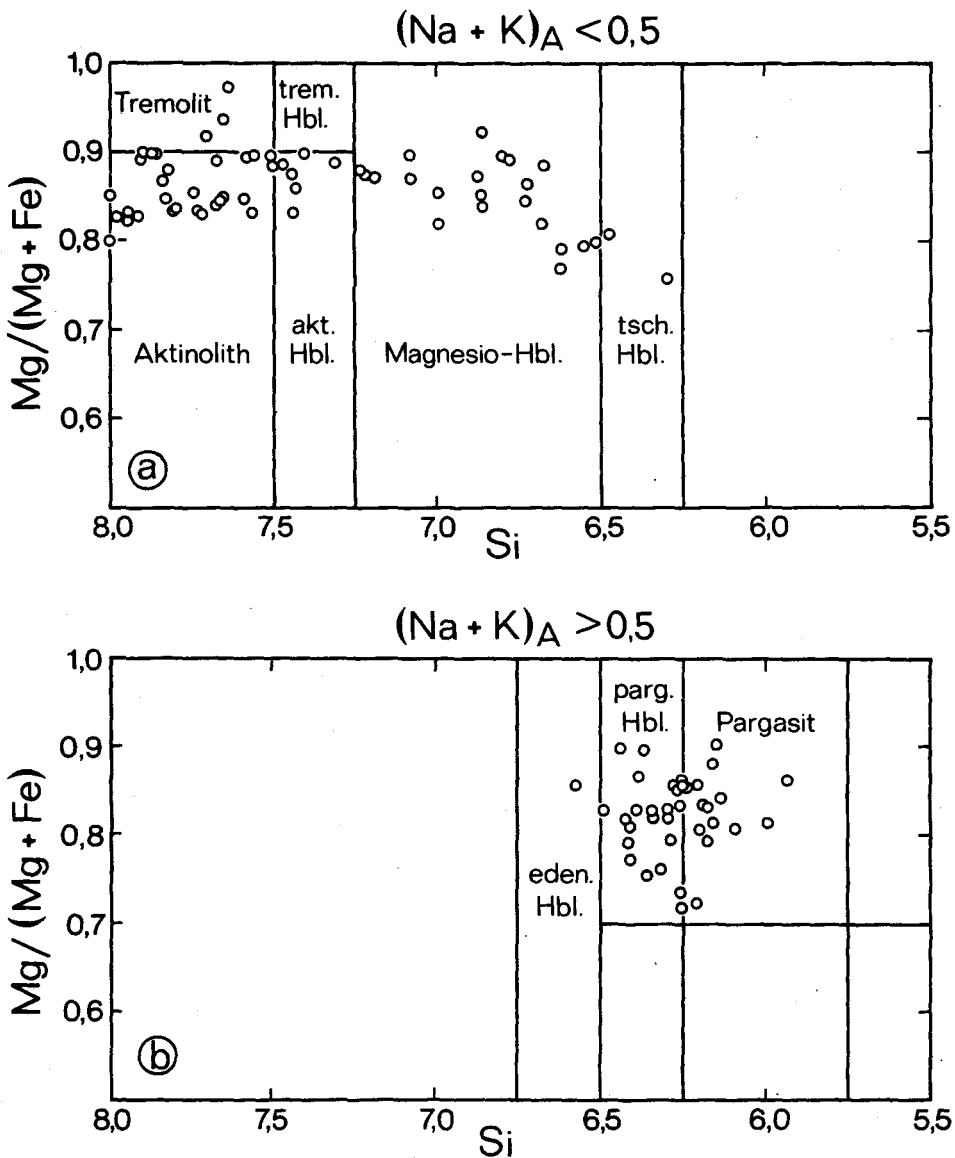


Abb. 2. Darstellung der analysierten Ca-Amphibole im Nomenklatur-Diagramm nach LEAKE (1978).

Tabelle 1. Abgeschätzte Modalbestände ausgewählter Ultramafitit-Proben aus der KTB-Vorbohrung (in Vol.-%).

| Typ | A1 | A2 | B | C | C | D | E |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Proben- Teufe (m) | 1381.64 | 1449.29 | 3718.60 | 1382.36 | 1410.80 | 1329.75 | 1583.65 |
| Amphibol | 57 | 83 | 45 | 53 | 42 | 75 | 85 |
| Klinopyroxen | 3 | - | - | - | - | - | - |
| Chlorit | 25 | 9 | 12 | 19 | 29 | 10 | 11 |
| Talk | 11 | 3 | 15 | 20 | 25 | - | - |
| Serpentin | - | + | 25 | 5 | + | - | - |
| Plagioklas | - | - | - | - | - | 10 | - |
| Apatit | + | + | - | + | + | + | - |
| Calcit | 1 | - | 1 | + | - | - | - |
| Rutil | - | - | - | + | + | - | - |
| Titanit | - | - | - | - | - | - | + |
| Epidot | - | + | + | - | - | + | 1 |
| Prehnit | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Allanit | + | - | - | - | - | - | - |
| Opakminerale | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 |

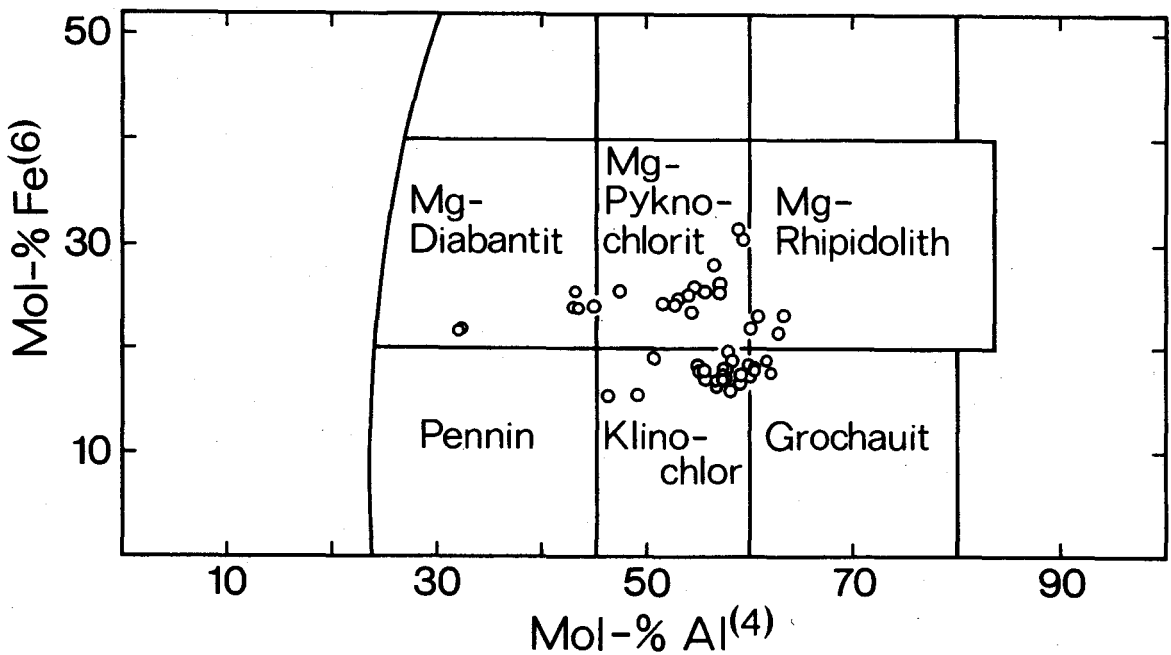


Abb. 3. Darstellung der chemisch analysierten Chlorite im Nomenklatur-Diagramm nach TRÖGER (1982).

A-3. Kataklastische Hösbachite

Wie das auch bei den Metabasiten und Gneisen in der KTB-Vorbohrung der Fall ist, werden die Hösbachite von Scherzonen durchsetzt, auf denen es zu einer kataklastischen Deformation ohne jede Rekristallisation gekommen ist.

B. Serpentin-führende Hösbachite

In einer Teufe von 3718 - 3720 m tritt ein strukturell und modal sehr heterogener Hösbachit-Körper auf, der Bereiche mit auffallenden magmatischen Gefügerelikten erkennen läßt. Porphyroklasten von Klinopyroxen und brauner Hornblende enthalten poikilitische Einschlüsse von Olivin-Pseudomorphosen (überwiegend Antigorit). Die Matrix besteht aus Aggregaten von Antigorit mit maschenartigen Magnetit-Anhäufungen, aus Klinochlor und blaßgrüner, z.T. recht Cr-reicher pargasitischer Hornblende, die z.T. symplektitische Verwachsungen bilden, sowie aus Talk und wenig Karbonat.

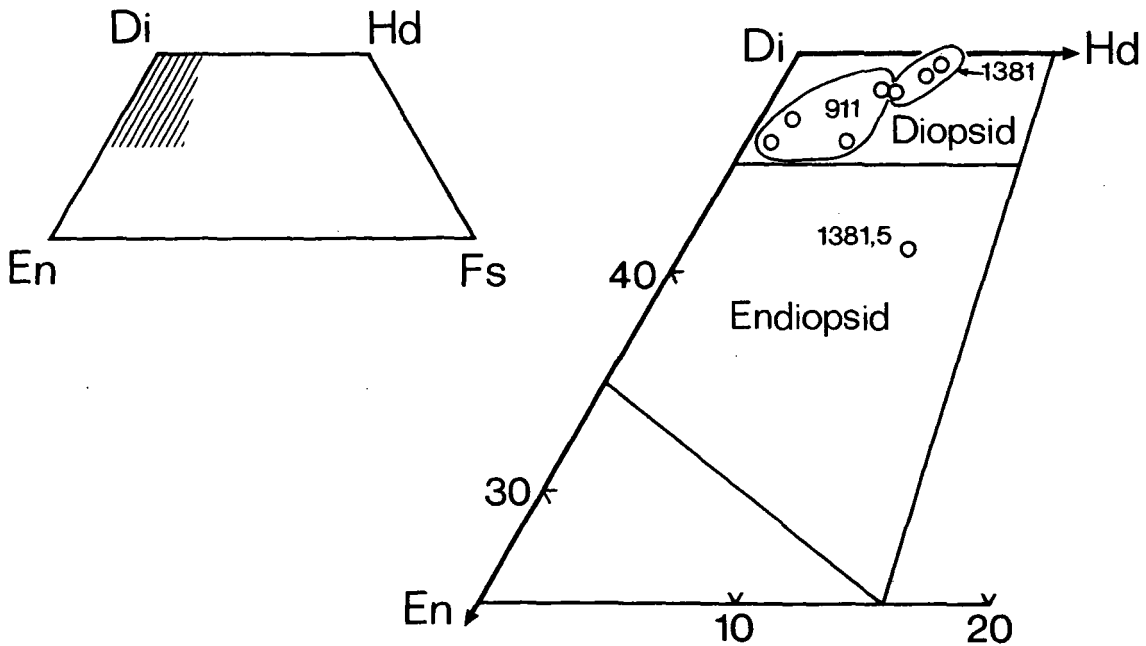


Abb. 4. Darstellung der analysierten Klinopyroxene im Pyroxentrapez. Feldergrenzen aus TRÖGER (1982).

C. Hösbachite mit Biotit-Relikten

Dieser Gesteinstyp ist durch die starke Beteiligung (bis 25 Vol.-%) von bräunlich-grünen Lepidoblasten gekennzeichnet, die auf ehemaligen Ti-Mg-reichen Biotit zurückgehen, jetzt aber überwiegend aus Chlorit bestehen. Dieser ist mit einem optisch biotit-ähnlichen Schichtsilikat verwachsen, das aber vermutlich selbst eine submikroskopische Verwachsung von Biotit und Chlorit darstellt: die K_2O -Gehalte variieren zwischen 0.03 und 4.73 Gew.-%. Echter Biotit, nämlich ein Fe-Al-armer Meroxen war lediglich in einem homöoblastischem Ultramafit in Teufe 3246.03 m nachzuweisen, der in Gneise eingeschaltet ist. Er enthält auch Cummingtonit (X_{Mg} 0.70 - 0.74), der von Talk verdrängt wird.

Auch die Matrix der Hösbachite mit Biotitrelikten enthält einen relativ hohen Anteil an Schichtsilikaten, und zwar neben Chlorit und Talk auch Antigorit. Sie sind deutlich eingeregelt, so daß dieser Gesteinstyp ähnlich stark geschiefert ist wie Typ A-2.

D. Plagioklas-führende Hösbachite

Obwohl diese Gesteine die typischen Gefügemerkmale von Hösbachiten zeigen, stellen sie wegen ihres merklichen Plagioklasanteils einen Übergangstyp zu den Metagabbros dar. Die Plagioklase (An₂₄₋₂₈) bilden granoblastische Aggregate in den Lücken der Hornblende-Porphyrklasten. Auffallend in diesem Gesteinstyp ist weiterhin die Verdrängung von farblosem Amphibol (Tremolit-Aktinolith) und Ilmenit durch grüne Hornblende.

E. Homöoblastische Chlorit-Amphibol-Felse bis -Schiefer

In ihrem Gefüge unterscheiden sich diese ultramafischen Metamorphite, die als häufige, aber stets nur geringmächtige Lagen in die Metagabbros eingeschaltet sind, deutlich von typischen Hösbachiten. Insbesondere fehlen die charakteristischen Amphibol-Porphyrklasten. Die homöoblastischen, teilweise deutlich geschieferten Gesteine bestehen aus Aggregaten von prismatischer, grüner Magnesiohornblende mit Rändern von Fe-armem Aktinolith; diese werden von verzweigten Chloritaggregaten umflasert. Akzessorien sind Epidot, Titanit, Apatit, Rutil und Opakphasen; als retrograde Bildung tritt Prehnit auf.

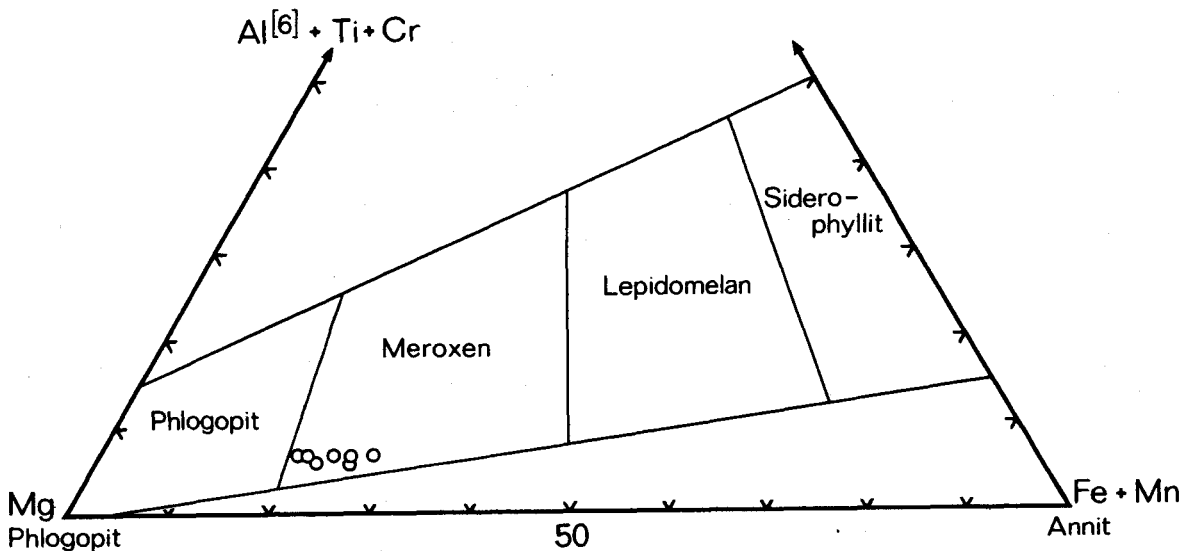


Abb. 5. Darstellung der analysierten Biotite aus der Hösbachit-Probe 3246.03 m im Konzentrationsdreieck Al⁽⁶⁾ + Ti + Cr - Mg - Fe + Mn. Feldergrenzen aus TRÖGER (1982).

3. Geochemie

3.1. Analysenmethoden

14 Proben ultramafischer Metamorphite aus der KTB-Vorbohrung wurden auf ihre Haupt- und Spurenelement-Gehalte hin analysiert (Tabelle 2). Dabei fanden vorwiegend Standard-RFA-Methoden mit Lithiumtetraborat-Schmelz- und Pulvertabletten Anwendung. Mg und Na wurden mit Flammen-AAS, Li und Yb mit flammenloser AAS analysiert, jeweils nach einem Flußsäure-Schwefelsäure-Aufschluß. Die Bestimmung von Fe(II) und P erfolgte spektrophotometrisch, von CO₂ volumetrisch und H₂O⁺ mittels der PENFIELD-Methode.

3.2. Hauptelement-Geochemie

Mit SiO₂-Gehalten von etwa 44 - 48 Gew.-% und MgO-Gehalten von etwa 13 - 26 Gew.-% (jeweils bezogen auf eine H₂O- und CO₂-freie Gesteinszusammensetzung) zeigen die nach ihrem Modalbestand ultrama-

fischen Gesteine geochemisch keinen streng ultrabasischen Charakter. Dementsprechend berechnet man in der CIPW-Norm neben Ol, Hy und Di stets auch einen gewissen Anteil an normativem Plagioklas (Pl).

Nach ihrem normativen Mineralbestand wären die Ausgangsgesteine der verschiedenen Hösbachit-Typen ehemalige Mela-Olivin-Gabbonorite bezogen auf die IUGS-Nomenklatur (STRECKEISEN, 1976), siehe Abb. 6. Jedoch müssen wir annehmen, daß der größte Teil des normativen Plagioklases in die braune Ti-reiche Hornblende eingebaut ist, die wir nach dem Gefügebefund als magmatische Reliktphase deuten (vgl. hierzu auch VOLL, 1960; MATTHES & OLESCH, 1986; MATTHES et al. in Vorb.). Damit ergäbe sich ein ultramafischer Protolith aus Olivin + Klinopyroxen + Orthopyroxen + Hornblende, petrographisch ein Amphibol-Peridotit bis Olivin-Amphibol-Pyroxenit. Diese Vorstellung wird auch durch die Lage der darstellenden Punkte im NIGGLI-Variationsdiagramm mg vs. si unterstützt (Abb. 7).

In ihrem Gesteinschemismus stimmen die Hösbachit-Proben aus der KTB-Vorbohrung gut mit den kontaktmetamorphen Äquivalenten aus Oberflächen-Vorkommen innerhalb der Zone von Erbdorf-Vohenstrauß überein (SCHÜSSLER, 1987). Wie die Abb. 6 und 7 zeigen, befinden sich die darstellenden Punkte der KTB-Hösbachite innerhalb des Streubereichs der Hösbachite aus dem Odenwald (SCHUBERT, 1969; KNAUER et al., 1974), während die Hösbachite aus dem Spessart Ol-ärmer sind (MATTHES & SCHUBERT, 1967; NASIR, 1986, 1990).

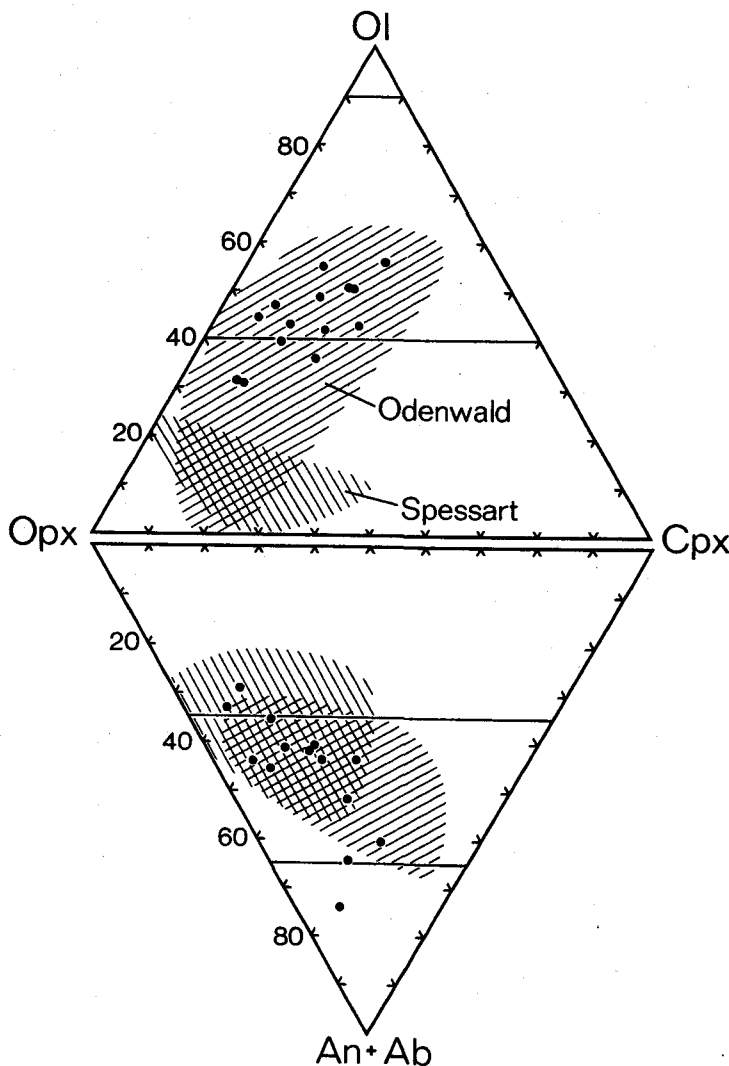


Abb. 6. Darstellung der analysierten Hösbachite und homöoblastischen Chlorit-Amphibol-Felse im Doppeldreieck normativer Ol - Opx - Cpx und Opx - Cpx - An + Ab. Zum Vergleich sind die Streufelder für die Hösbachite des Spessarts und des Odenwaldes eingetragen.

Tabelle 2: Chemische Analysen von metamorphen Ultramafititen aus der KTB Vorbohrung.

(Proben: Teufe in m, Hauptbestandteile in Gew.-%, Spurenelemente in ppm)

| Typ | A-1 | A-2 | A-2 | A-2 | A-2 | A-3 | A-3 | B | C | C | D | D | E | E |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Probe | 1381.64 | 1449.29 | 1449.88 | 3716.78 | 3717.20 | 1384.75 | 1384.80 | 3718.60 | 1382.36 | 1410.80 | 1329.75 | 3719.93 | 1583.70 | 2509.64 |
| SiO ₂ | 42.9 | 43.0 | 42.3 | 42.9 | 44.6 | 45.8 | 43.5 | 42.4 | 43.2 | 46.3 | 44.6 | 42.7 | 41.7 | 43.0 |
| TiO ₂ | 1.09 | 1.21 | 0.91 | 0.79 | 0.70 | 1.36 | 0.94 | 0.82 | 0.99 | 0.67 | 1.45 | 1.03 | 1.17 | 1.69 |
| Al ₂ O ₃ | 8.95 | 7.42 | 8.50 | 7.70 | 7.00 | 14.3 | 8.81 | 7.60 | 8.60 | 9.13 | 13.0 | 11.7 | 11.0 | 10.1 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.07 | 3.90 | 4.05 | 2.79 | 1.54 | 2.22 | 2.86 | 3.40 | 2.44 | 1.56 | 1.40 | 1.97 | 1.87 | 1.45 |
| FeO | 10.8 | 11.2 | 10.7 | 8.32 | 10.0 | 8.48 | 9.40 | 7.83 | 10.2 | 11.2 | 9.90 | 9.20 | 9.64 | 10.2 |
| MnO | 0.20 | 0.22 | 0.20 | 0.21 | 0.28 | 0.18 | 0.21 | 0.16 | 0.20 | 0.22 | 0.17 | 0.20 | 0.18 | 0.20 |
| MgO | 21.0 | 20.8 | 20.7 | 23.7 | 23.5 | 12.5 | 19.2 | 23.9 | 21.3 | 19.3 | 14.3 | 17.6 | 18.6 | 17.2 |
| CaO | 5.86 | 5.65 | 6.40 | 6.47 | 5.85 | 6.67 | 7.50 | 6.32 | 5.15 | 7.04 | 7.85 | 8.77 | 8.60 | 8.80 |
| Na ₂ O | 0.75 | 0.43 | 0.57 | 0.20 | 0.08 | 2.63 | 0.80 | 0.62 | 0.85 | 1.13 | 1.85 | 0.98 | 0.33 | 0.25 |
| K ₂ O | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | <0.01 | 0.55 | 0.04 | 0.05 | 0.18 | 0.30 | 0.19 | 0.27 | 0.42 | 1.18 |
| P ₂ O ₅ | 0.17 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.04 | 0.14 | 0.11 | 0.05 | 0.17 | 0.05 | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.37 |
| H ₂ O ⁺ | 5.2 | 5.1 | 5.0 | 6.3 | 6.0 | 4.5 | 5.6 | 5.8 | 5.1 | 3.8 | 4.3 | 4.8 | 5.4 | 5.2 |
| CO ₂ | 0.34 | 0.04 | 0.12 | 0.07 | 0.01 | 0.17 | 0.06 | 0.46 | 0.25 | 0.05 | 0.05 | 0.08 | 0.10 | 0.16 |
| S | 0.21 | 0.84 | 0.87 | 0.62 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.22 | 0.11 | 0.02 | 0.18 | 0.01 | 0.05 | 0.02 |
| Li | 3 | <2 | 5 | <2 | <2 | 32 | 21 | <2 | <2 | 18 | 37 | 38 | 92 | 107 |
| V | 147 | 200 | 170 | 142 | 135 | 200 | 133 | 145 | 145 | 100 | 188 | 162 | 173 | 200 |
| Cr | 650 | 1230 | 1240 | 1300 | 1270 | 350 | 555 | 1280 | 725 | 530 | 575 | 530 | 760 | 870 |
| Co | 105 | 117 | 110 | 98 | 100 | 57 | 90 | 100 | 110 | 83 | 76 | 85 | 95 | 72 |
| Ni | 640 | 775 | 785 | 720 | 710 | 190 | 570 | 685 | 665 | 420 | 490 | 450 | 640 | 410 |
| Cu | 34 | 257 | 228 | 54 | 8 | 42 | 29 | 30 | 55 | 32 | 103 | 18 | 142 | 7 |
| Zn | 99 | 115 | 106 | 82 | 111 | 82 | 94 | 84 | 92 | 114 | 92 | 87 | 110 | 110 |
| Rb | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 16 | 2 | 3 | 6 | 8 | 5 | 12 | 9 | 36 |
| Sr | 88 | 48 | 37 | 18 | 12 | 234 | 68 | 70 | 87 | 122 | 143 | 82 | 22 | 37 |
| Y | 27 | 28 | 30 | 29 | 19 | 23 | 26 | 30 | 34 | 29 | 40 | 21 | 35 | 29 |
| Zr | 99 | 110 | 67 | 53 | 54 | 112 | 87 | 59 | 101 | 49 | 115 | 78 | 105 | 154 |
| Nb | 10 | 12 | 9 | 7 | 6 | 10 | 10 | 6 | 9 | 8 | 9 | 7 | 13 | 30 |
| Ba | 52 | 57 | 50 | 37 | 15 | 216 | 51 | 48 | 86 | 153 | 114 | 103 | 132 | 450 |
| La | 10 | 9 | 7 | 5 | 3 | 9 | 11 | 4 | 9 | 7 | 11 | 6 | 11 | 21 |
| Ce | 11 | 11 | 14 | <10 | <10 | 13 | 13 | <10 | 22 | <10 | 17 | 11 | 16 | 36 |
| Yb | 2.7 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 3.1 | 2.4 | 1.8 | 2.2 | 2.2 | 3.5 | 2.4 | 2.6 | 2.5 |
| Th | <2 | 2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | 3 |

3.3. Spurenelement-Geochemie

Nach ihren Spurenelement-Gehalten lassen sich zwei Gruppen von metamorphen Ultramafititen unterscheiden (Abb. 8):

Die schiefrigen Hösbachite (A-2) und die serpentinführenden Hösbachite (B) weisen übereinstimmend hohe Gehalte an Cr (1230 - 1300 ppm) und Ni (685 - 785 ppm) auf mit einem Cr/Ni-Verhältnis > 1.6 . Die Gehalte an inkompatiblen Elementen sind gering.

Die anderen Hösbachit-Typen (A-1, A-3, C, D) und die homöoblastischen Chlorit-Amphibol-Felse bis -Schiefer (E) bilden eine zweite Gruppe mit niedrigeren Gehalten an Cr (530 - 870 ppm) und Ni (410 - 665 ppm) und mit Cr/Ni-Verhältnissen < 1.2 . Die inkompatiblen Elemente Li, Rb, Nb, Ba und Ce liegen deutlich höher, besonders im Typ E. Extrem geringe Cr- und Ni-Gehalte wurden in einer der Proben des kataklastischen Hösbachit-Typs (A-3) gefunden.

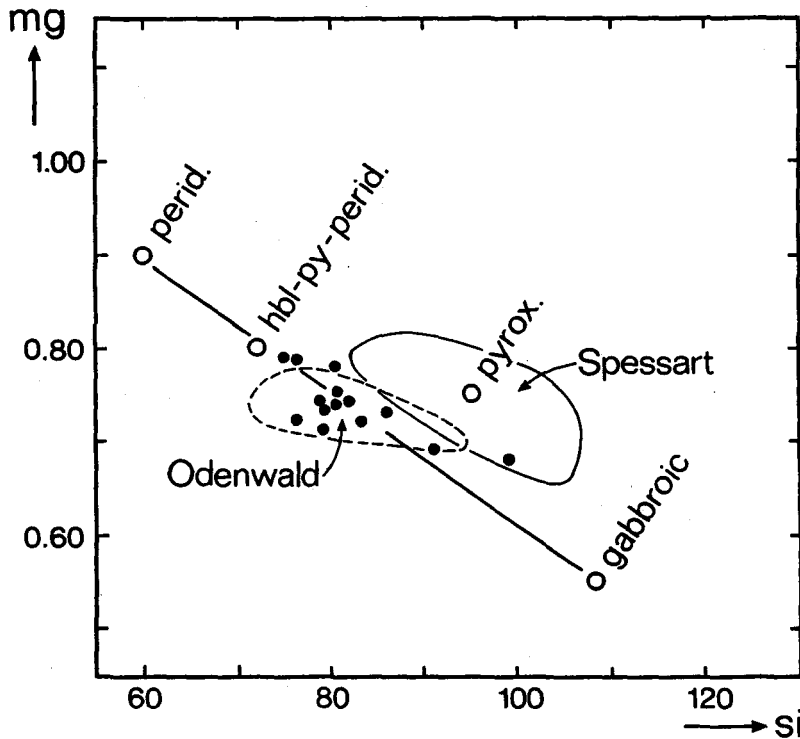


Abb. 7. Darstellende Punkte der analysierten Ultramafitite aus der KTB-Vorbohrung im Variationsdiagramm NIGGLI-Si gegen NIGGLI-mg. Zum Vergleich sind die Magmentypen nach NIGGLI (1923) dargestellt.

4. Petrogenetische Überlegungen

4.1. Edukt

Die magmatischen Gefüge- und Mineralrelikte sowie die Haupt- und Spurenelement-Geochemie lassen keinen Zweifel daran, daß die unterschiedlichen Hösbachit-Typen sich von einem ultramafischen Magmatit ableiten. Der enge Verband zwischen Hösbachiten und Metagabbros, der im Kernmaterial der KTB-Vorbohrung eindrucksvoll dokumentiert ist, beweist, daß beide Gesteinstypen eine gemeinsame magmatische Genese haben. Dabei deuten wir die Hösbachite als ultramafische Differentiationsprodukte der gabbroiden Magmen in Form von Kumulatgesteinen. Wie die Unterschiede in der Spurenelement-Geochemie belegen, hat sich der magmatische Differentiationsvorgang verschieden weit durchgesetzt (vgl. MATTHES et al. in Vorb.).

Die von uns abgeleitete magmatische Paragenese im Edukt der Hösbachite ist

Braune Hornblende + Klinopyroxen ± Orthopyroxen + Olivin ± Mg-Biotit (+ oxidische und sulfidische Opakphasen).

Über Art und Ausmaß möglicher postmagmatischer Alterationsvorgänge, die z.B. zu einer Serpentinisierung bzw. Iddingsitisierung von Olivin geführt haben sollte, lassen sich wegen der intensiven metamorphen Überprägung keine Aussagen machen.

4.2 Metamorphose

Während die assoziierten Metagabbros eindeutige Hinweise auf ein Hochdruckstadium unter eklogitfaziellen Bedingungen und auf ein nachfolgendes granulitfazielles Hochtemperaturstadium erkennen lassen, ist das bei den assoziierten Hösbachiten nicht der Fall. So hätte man erwarten können, daß der normative Anorthit-Anteil der braunen magmatischen Hornblende zu Grossular-Molekül in einem Eklogitgranat, der normative Albit-Anteil zu Jadeit-Molekül in einem Omphacit reagiert hätten; doch sind diese Reaktionen - wahrscheinlich wegen kinetischer Hemmung - offenbar ausgeblieben.

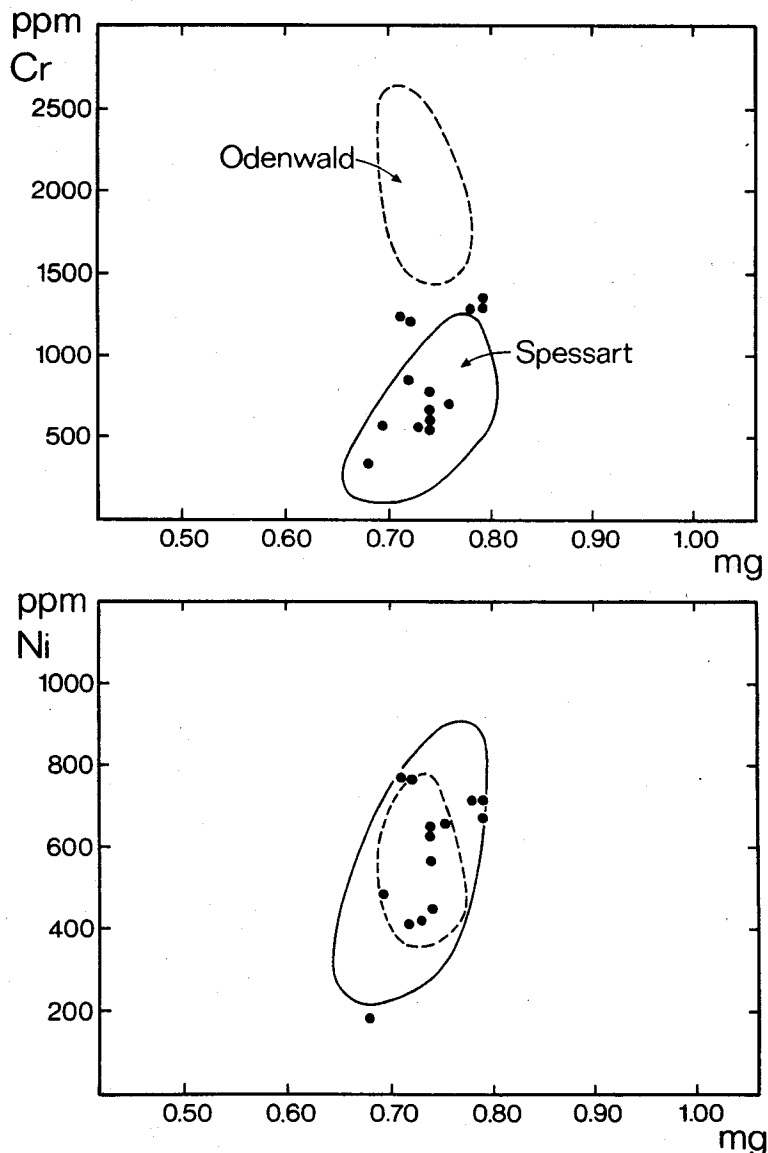


Abb. 8. Variationsdiagramme NIGGLI-mg gegen Cr und gegen Ni.

Die amphibolitfazielle Überprägung, die auch in den Metagabbros, den Amphiboliten und den Paragneisen der KTB-Vorbohrung von dominierendem Einfluß ist, führte in den Hösbachiten zur Paragenese

grüne Hornblende ± Anthophyllit ± Cumingtonit + Klinochlor + Talk
+ Ilmenit (+ ein Teil der sulfidischen Opakminerale).

Die stabile Koexistenz von Anthophyllit, Talk und Klinochlor steht im Einklang mit dem Temperaturbereich von 650 - 700 °C, der für den Höhepunkt der amphibolitfaziellen Metamorphose aus Paragenesen in den assoziierten Metasedimenten (REINHARDT, 1990) und Metabasiten (PATZAK et al., dieser Report; RÖHR et al., in Vorb.) abgeschätzt wurde. Legt man den von diesen Autoren abgeschätzten Druck von etwa 10 kbar zugrunde und geht von in erster Näherung von $P(H_2O) = P(tot)$ aus, so wäre Talk noch bis zu einer Maximaltemperatur von ungefähr 780 °C stabil (DAY & HALBACH, 1979). Ähnliches gilt für die obere Stabilitätsgrenze von Klinochlor (STAUDIGEL & SCHREYER, 1977; JENKINS & CHERNOVSKY, 1986), auch wenn man berücksichtigt, daß dieser in den Hösbachiten einen merklichen Fe-Gehalt aufweist. Nach den experimentellen Daten von GREENWOOD (1963; vgl. auch CHERNOVSKY, 1976; HEMLEY, 1979) liegt die untere Stabilitätsgrenze von reinem Mg-Anthophyllit bei $P(H_2O) = 10$ kbar bei etwa 690 °C. Diese Temperatur erniedrigt sich durch den Fe-Gehalt der vorliegende Anthophyllite (X_{Mg} maximal 0.8) noch um 30 - 40 °C, wie man bereits aus den Experimenten von HINRICHSEN (1967) ableiten kann.

In dem abgeleiteten Temperaturbereich sollte Olivin - soweit noch als Reliktphase vorhanden - stabil geblieben sein oder sich aus postmagmatisch entstandenem Serpentin neu bilden. Er wurde jedoch nicht beobachtet. Wir nehmen daher an, daß die Pseudomorphosen von Antigorit + Talk + Magnetit auf einen grünschieferfaziellen Abbau von primär magmatischem und/oder amphibolitfaziell metamorph gebildetem Olivin bei Temperaturen < ca. 550 °C (JOHANNES, 1975; EVANS et al., 1976) zurückgehen. Als Produkte dieser grünschieferfaziellen Überprägung sehen wir auch die unregelmäßige Sprossung von farblosem Amphibol (Magnesiohornblende bis Aktinolith), Chlorit II, Talk II und Antigorit, die Chloritisierung von Mg-Biotit und die Bildung von Karbonat an.

Während der amphibolitfaziellen Metamorphose wurden die magmatischen Reliktphasen postkristallin, die metamorphen Neubildungen parakristallin deformiert. Demgegenüber erfolgte die grünschieferfazielle Überprägung mehr statisch und führte zu einer Entregelung des Gefüges. Zu den letzten Phasen der Entwicklung gehört eine kataklastische Deformation auf Scherzonen und die Kluftfüllung mit Prehnit, Epidot und Calcit.

Danksagung

Den Mitarbeitern des KTB-Feldlabors danken wir für die Hilfe bei der Probenahme. Die Arbeiten wurden in dankenswerter Weise durch eine Sachbeihilfe (Ge 120/69-1) der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Literatur

- CHERNOVSKY, J. V. (1976): The stability of anthophyllite - a re-evaluation based on new experimental data. - Amer. Mineral., 61, 1145-1155.
- DAY, H. W. & HALBACH, H. (1979): The stability field of anthophyllite: the effect of experimental uncertainty on permissible phase diagram topologies. - Amer. Mineral. 64, 809-823.
- EVANS, B. W., JOHANNES, W., OTERDOOM, H. & TROMMSDORFF, V. (1976): Stability of chrysotile and antigorite in the serpentine multisystem. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 56, 79-93.

- GEHLEN, K. VON, MATTHES, S., OKRUSCH, M., RÖHR, C. (1989): Ultramafitite in der KTB-VB. KTB Report 89-3, 427.
- GEHLEN, K. VON, MATTHES, S., OKRUSCH, M., RICHTER, P., RÖHR, C., SCHÜSSLER, U. (1990) Metapyroxenite in der KTB Vorbohrung. KTB Report 90-4, 534.
- GREENWOOD, H. J. (1963): The synthesis and stability of anthophyllite. - *J. Petrol.* 4, 317-351.
- HEMLEY, J. J., MONTOYA, J. W., SHAW, D. R. & LUCE, R. W. (1977): Mineral equilibria in the MgO-SiO₂-H₂O system II: Talc-antigorite-forsterite-anthophyllite-enstatite stability relations and some geologic implications. - *Amer. J. Sci.* 277, 353-383.
- HINRICHSEN, Th. (1967): Über den Stabilitätsbereich der Mg-Fe²⁺-Al-Mischkristallreihe rhombischer Hornblenden. Teil I: Hydrothermale Untersuchungen der Anthophyllit-Ferroanthophyllit-Mischkristallreihe. - *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* 1967, 257-284.
- JENKYN, D. M. & CHERNOVSKY, J. V. (1986): Phase equilibria and crystallochemical properties of Mg-chlorite. - *Amer. Mineral.* 71, 924-936.
- JOHANNES, W. (1975): Zur Synthese und thermischen Stabilität von Antigorit. - *Fortschr. Mineral.* 53 (Beih. 1), 36.
- KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G. & HACKER, W. (1986): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 992 bis 1530 m: *B. Geologie.* - KTB Report 88-6, B1 - B88.
- KNAUER, E., OKRUSCH, M., RICHTER, P., SCHMIDT, K. & SCHUBERT, W. (1974): Die metamorphe Basit-Ultrabasit-Assoziation in der Böllsteiner Gneiskuppel, Odenwald. - *Neues Jahrb. Mineral. Abhandl.* 122, 186-228.
- KOHL, J., HACKER, W., RÖHR, C. & SIGMUND, J. (1989): Geologische Strukturen in Gesteinen der KTB-Vorbohrung. - *KTB-Report*, 89-3, 467.
- LEAKE, B. E. (1978): Nomenclature of amphiboles. - *Amer. Mineral.* 63, 1023-1052.
- MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C., GRAUP, G., HACKER, W., KEYSSNER, S. & KOHL, J. (1988): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 1530 bis 1998 m: *B. Geologie.* - KTB Report 88-9, B1 - B66.
- MATTHES, S. & KRÄMER, H. (1955): Die Amphibolite und Hornblendegneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre petrogenetische Stellung. - *Neues Jahrb. Mineral. Abhandl.*, 88, 225-272.
- MATTHES, S. & OKRUSCH, M. (1965): Spessart. - *Sammlung Geologischer Führer*, 44, 220 S., Borntraeger, Berlin.
- MATTHES, S. & SCHUBERT, W. (1967): Der Chlorit-Hornblende-Fels von Wenighörsbach im mittleren Vorspessart und seine genetischen Beziehungen zu spätkinematischen Chlorit-Amphiboliten. - *Veröffentlichungen des Geschichts- und Kunstvereins Aschaffenburg* 10, 15-46.
- MATTHES, S. & OLESCH, M. (1986): Polymetamorphic-metasomatic black wall rocks of the Falkenberg granite contact aureole near Erbdorf, Oberpfalz, Bavaria. - *Neues Jahrb. Mineral. Abhandl.* 153, 325-362.
- MATTHES, S., RÖHR, C., SCHÜSSLER, U., VON GEHLEN, K., OKRUSCH, M. & RICHTER, P. (in Vorb.): Talc-chlorite-amphibole felsens in the KTB pilot hole, Bavaria, Germany. - *Wird bei Eur. J. Mineral.* eingereicht.

- NASIR, S. (1986): Die Metabasite im mittleren kristallinen Vorspessart: Petrographie - Geochemie - Phasenpetrologie. Diss. Univ. Würzburg, 192 S.
- NASIR, S. (1990): Coexisting cummingtonite-hornblende pairs in metamafic rocks from the central Spessart crystalline complex, NW-Bavaria, F.R.G. - *Chemie der Erde* 50, 181-188.
- NIGGLI, P. (1923): Gesteins- und Mineralprovinzen. Bd. 1, Borntraeger Berlin.
- PATZAK, M., OKRUSCH, M. & RÖHR, C. (1989): Metabasite der KTB-Vorbohrung: Petrographie, Geochemie, Mineralchemie, Metamorphoseentwicklung. KTB Report 91- (dieser Report).
- REINHARDT, J. (1990): Metamorphism of the metapelites in the KTB drillcore: reaction sequences and thermobarometric constraints. - KTB Report 90-4, 535.
- RÖHR, C., O'BRIEN, P. J., OKRUSCH, M. & PATZAK, M. (in Vorb.): Metamorphic evolution of metabasites from the KTB pilot hole, North-East Bavaria. - Wird bei *Contrib. Mineral. Petrol.* eingereicht.
- SCHUBERT, W. (1969): Chlorit-Hornblende-Felse des Bergsträsser Odenwaldes und ihre Phasenpetrologie. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 21, 295-310.
- SCHÜSSLER, U. (1987): Petrographie, Geochemie und Metamorphosealter von Metabasiten im KTB-Zielgebiet Oberpfalz. - Diss. Univ. Würzburg, 272 S.
- SIGMUND, J., HACKER, W., KEYSSNER, S., KOHL, J., MÜLLER, H., RÖHR, C., STROH, A. & TAPPER, M. (1990): Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB 1a und 1b, Ergebnisse im KTB-Feldlabor (Windischeschenbach), Teufenbereich von 3500 bis 4000.1 m. - KTB Report 90-2, B1-B142.
- STAUDIGEL, H. & SCHREYER, W. (1977): The upper thermal stability of clinocllore, $Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$, at 10 - 35 kb PH_2O . - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 61, 187-198.
- STRECKEISEN, A. J. (1976) To each plutonic rock its proper name. - *Earth Sci. Rev.* 12, 1-33.
- TRÖGER, W. E. (1982): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1 Bestimmungstabellen. 5. Aufl., Schweizerbart Stuttgart.
- VOLL, G. (1960): Stoff, Bau und Alter in der Grenzzone Moldanubikum / Saxothuringikum in Bayern unter besonderer Berücksichtigung gabbroider, amphibolitischer und kalksilikatführender Gesteine. - *Geol. Jahrb. Beih.* 42, 382 S.